

POWER SUPPLY CONTROL SYSTEM FOR THE XFEL/SPring-8 MAGNETS

Hideki Takebe^{1A)}, Toru Hara^{A)}, Toru Fukui^{A)}, Takuya Otake^{A)}, Kenji Fukami^{B)}, Yuji Otake^{A)}, Noritaka Kumagai^{A)}

^{A)} SPring-8 Joint-Project for XFEL/RIKEN, 1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{B)} SPring-8 Joint-Project for XFEL/JASRI, 1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

The magnet power supply control system for the XFEL/SPring-8 project is summarized in this paper. A VME-optical IO module system (i-DIO card) has been made and tested with a two channel enclosed magnet power supplies for LINAC magnets. An FPGA in the i-DIO card is used for current deviation monitoring and for a local control system.

XFEL/SPring-8 電磁石電源の制御

1. はじめに

理化学研究所がSPring-8サイト内に建設している全長700mのX線自由電子レーザー施設(XFEL/SPring-8)は、2009年3月に線形加速器棟およびアンジュレータを収納する光源棟の建屋が完成し、2010年秋には線型加速器とアンジュレータビームライン2本が設置される^[1]。電磁石及び電源は2009年度中に製作が終了し、10台の偏向、107台の四極、210台のSteering、および10台のMagnetic Lens(Solenoid)の設置、接続試験を2010年7月までに行う予定である^[2]。

本稿では電磁石電源の仕様、配線方針、製作状況を概略的に説明し、その制御方法に関して詳細に報告する。

2. 電源の基本構造

XFEL/SPring-8で使用する電磁石電源には、バイポーラー電源、ユニポーラー電源、及び四象限電源の三種類の電源があり、定格別に合計13種類の電源を用いる。20A以下の小型電源はトランジスタードロップ方式、130A以上の電源にはFET、IGBTを使ったスイッチング電源方式を使用する。電源制御はSPring-8で開発され、既に利用実績のあるVMEのField Bus光IOシステム^[3]の電源組み込み型カードを用いて行う。

小型電源は、受電とシャーンを共有化した2電源を1式とし、1枚のカードで制御する。また低コスト化のため、基本的にローカル操作機能を省きリモート制御のみとする。冷却方式は空冷で、形状はEIA標準ラック組み込み型、1式の大きさは高さ4U~5U、奥行き550mmである。冷却ファンは筐体外部から簡単に交換できる構造とし、保守作業を容易にする。

130A、300Aの中型電源は1電源を1式とし、水冷方式でEIA標準ラック内に収容される。600Aの大型電源は、1電源を1式、水冷自立型とする。

3. 電源の仕様と種類

電磁石電源は全て直流定電流出力であり、偏向電磁石、Magnetic Lens、及び四極電磁石にはユニポーラー型電源を用いる。Steeringと一部の四極電磁石には、バイポーラー型を使用する。ビームバンチ圧縮用シケイン部の偏向電磁石4台は直列に1台の電源で励磁するが、各電磁石には1A又は12Aの補正用四象限電源が接続される。またアンジュレータBLの切替を行うビーム振り分け電磁石にも主電源の他に、残留磁場調整のための四象限電源が接続される。

長時間電流安定度及びリップルの許容値は10~100ppm(FW)とする。受電は60Hz、単相100V、3相210V又は3相420Vとする。電磁石の種類と電源タイプ、台数に関して線形加速器棟(Li)と、Matching Section以降の光源棟(MS-Un)の台数を表1に示す。

表1：電磁石の種類と電源タイプ

Magnet Type	PS-Type	Li	MS-Un	Total
Dipole Magnet	Unipolar, Aux	22	10	32
Quadrupole Magnet	Unipolar, Bipolar	48	59	107
Steering Magnet	Bipolar	90	120	210
Long Coil Magnet	Bipolar	2	0	2
Solenoid Magnet	Unipolar	10	0	10
Total(Channel)		172	189	361

3.1 電源仕様

製作コストを下げるため、製作する電源は極性の有無、電圧、電流で分類して13種類にまとめた。表

¹ E-mail: takebe@spring8.or.jp

2に線形加速器(Li)と光源棟部(MS-Un)で使用する電源Channel数を示す。

3.2 電源設置と配線

XFEL加速部の大半を占めるC-Band加速部は、クライストロン1本で約2mの加速管2本にRFを供給する(1ユニット)。4ユニットを1セクション(約16m)とし、関連する真空装置、モニター装置、同期装置等の電源および制御機器は4連ラックに收容する。1セクションには、Q magnet 1台とSteering Magnet 2台設置されるが、電源は2ch 1式の電源筐体構造を採用しているため、St電源は1セクションに1式、Q電源は2セクションに1式設置する(図1)。電源の制御カードは光ファイバーで直近のVME-Master Cardに接続される。電源は空冷であるが、收容されるラックは水冷式である(図2)。

バンチ圧縮用シケイン部は、偏向電磁石4台が直列に1台の主電源で励磁されるが、各電磁石には補正用の四象限電源を並列接続する(図3)。図4に示すとおり出力は全て絶縁型とする。

表2: 電源定格別種類集計表

ユニポーラ電源	Li	MS-Un	合計	種別
3A, 4V	12	0	12	U1
5A, 5V	16	0	16	U2
11A, 7V	14	60	74	U3
20A, 17V	12	0	12	U5
20A, 42V	2	0	2	U6
130A, 30V	0	1	1	U9
300A, 25V	0	2	2	U7
600A, 58V	0	2	2	U8
バイポーラ電源				
±3A, 3.5V	56	76	132	B1
±3A, 8V	35	48	83	B2
±10A, 5V	2	0	2	B3
四象限電源				
±1A, 10V	13	4	17	AUX1
±12, 10V	0	5	5	AUX2
合計 Ch 数	162	194	361	

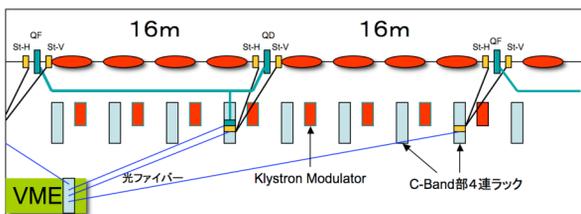


図1: C-bandにおけるQ, St電磁石と電源配置

3.3 電源出力監視

光源棟の偏向電磁石電源には、電流変動によって電子ビームの軌道が変化し、ビームが真空チャンバーなどにあたらないように監視するシステムを設ける。電流値が設定範囲(0.1%から1%)から外れると、電源内部及び外部(安全管理系)のシステムが異常を16ms程度で検知し、即座に電子銃などを停止

する。同時にi-DIOの機能によりADCを監視する系統も備える。図5に電源の内部監視回路、ADCデータの監視、及び外部監視システムの系統図を示す。また全ての電源は5%以上の電流偏差が出ればTracking Errorを出して停止する。小型電源も必要に応じて0.1%~1%のADC異常信号を機器保護Interlockシステムに出力できる。



図2: C-band部4連ラック(左2連の水冷式に電磁石電源が收容される)

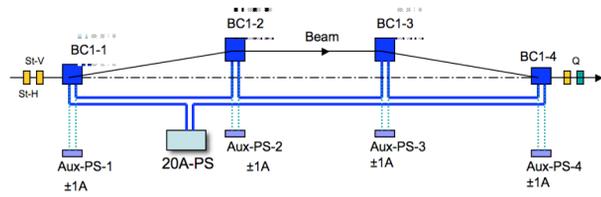


図3: シケイン電磁石4台の電源接続

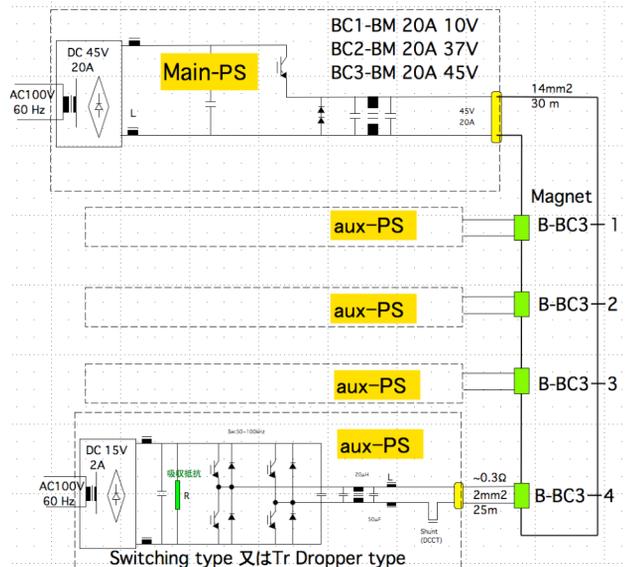


図4: 電磁石4台と四象限電源の回路例

4. 制御方式

電源の遠隔制御には、SPring-8 LINACやSCSS試験加速器でも実績のあるVME-光I/O方式を改良した、i-DIOカード方式を用いる。i-DIOカードは電源の裏パネルから実装し光I/Oカード1枚(入出力点数64bit)で2電源を制御する(図6)。

4.1 電源制御I/Fカード (i-DIO) 概要

i-DIOのサイズは6UシングルスロットのVMEbusと同じで、電源筐体に直接挿入することにより、絶縁、対ノイズ特性などを向上させている。VMEbusと同じく3列のPin Connectorをもち、i-DIO(図7)と電源のI/F接続は図8に示すとおりPhoto Coupler電流駆動信号で取り合う。負荷側は各ポート毎に絶縁される。Photo Coupler駆動時の論理を1としている。

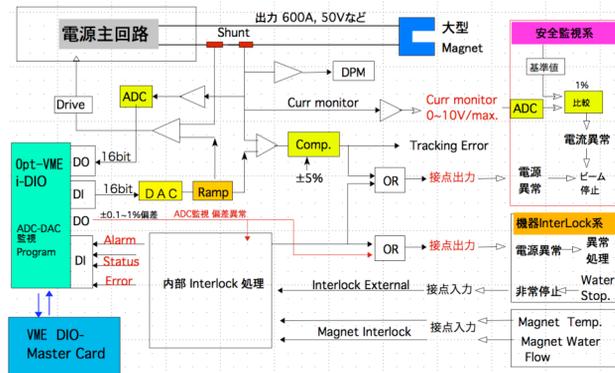


図5：出力電流を監視する3つの系統



図6：2ch型電磁石電源
(i-DIOカードはリアパネルから挿入し電源制御基板に勘合し、耐ノイズ性も考慮した)



図7：i-DIO

4.2 i-DIOの内部構造

VME側のmasterとremote card (i-DIO)間をTOSLINK光ファイバーで接続し、通信データ信頼性を上げるため、CRCエラー監視、タイムオーバー監視をFPGA (EP3C25)で行う(図9)。i-DIOには16bitの入出力ポートが4つ装備され、DI 64bit, DO 64bitのほか各ポートにStrobe bitがある。また

FPGAプログラムには以下の二点の機能を持たせている。(1)電流設定データ(DAC)と電流監視データ(ADC)を常に比較し、それらの差が設定値以上になると偏差異常信号を出し、出力電流を監視する。(2)電源のSwitch状態でDACデータを増減させ、簡易的なLocal制御を実現する。

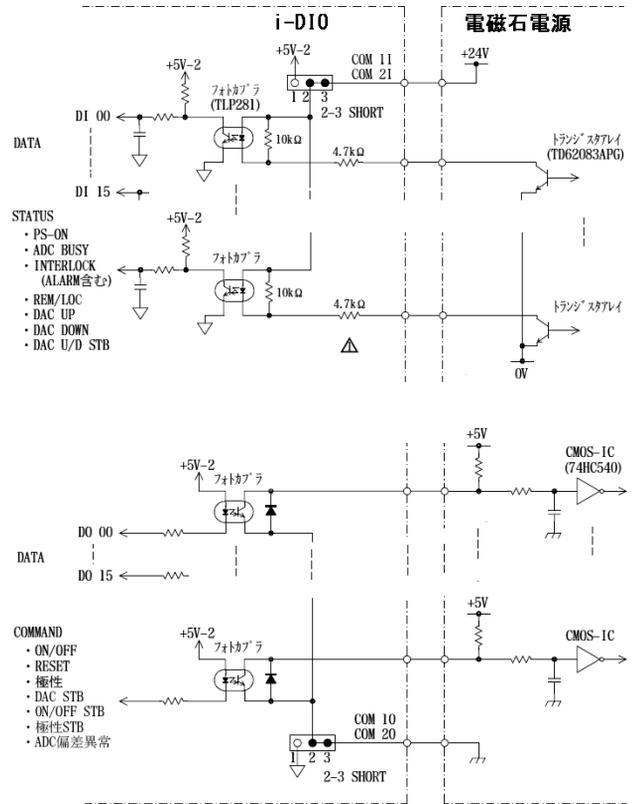


図8：i-DIOと電源の接続I/F回路

4.3 制御入力信号

各電源からi-DIOへの入力信号には1chあたり、電流モニターADC(16bit)、On/Offステータス、ADCビジー、Local/Remote、電源異常、過電流、過電圧、温度異常、流量異常、負荷温度異常、負荷流量異常、非常停止(外部)、Tracking Error、偏差異常アラーム(±0.1% or 1%、重要電源のみ)の29bitがある。この他水冷式電磁石励磁に用いる電源には、電磁石冷却水接点と温度接点の負荷側Interlock信号があり、iDIOカード1枚で電源1台方式として、多数のDI信号を取り込める。

4.4 制御出力信号

各電源へのi-DIOからの出力信号は1chあたり、電流設定DAC(16bit)、DAC-Strobe、On/Off、On/Off-Strobe、Reset、(外部)非常停止、ADC-Deviation Errorの22bitである。

4.5 ADC監視システム

電流Shuntの出力は、電源に組み込んだADCで250 μS毎にSamplingされ1ms周期でi-DIOにデータを渡し、FPGAのProgramで4-128回の移動平均化処理を

した後DACの値と比較される。比較結果が偏差規定値を超えると、DO経由で電源に異常信号を渡す。平均回数、偏差規定値は上位計算機から予め設定できるようになっている。電源のADC, DACはともに定格電流値にて16進F800に設定する。従って最大電流は16進FFFFで定格の103.3% (Bipolarは106.6%)になる。B2, U1の小型電源の先行機ではその偏差が±0.1%以下に入ることが確認出来た。

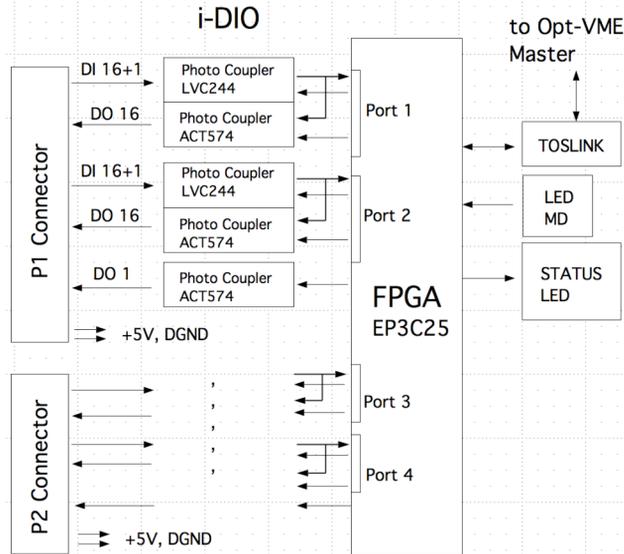


図 9 : i-DIO内部Block図

4.6 電源ローカル制御

小型電源は、ローカル制御機能を持たないため、工場などで試験する場合は光IOカードを模擬するSWボードを利用する。またDACやADCの試験など複雑な設定が必要な場合は、光IOカードと可搬型VMEを利用して出荷検査などを行う。

中型以上の電源については、簡易的なローカル制御機能を持たせる。i-DIOカードに実装されているFPGAを使って、電源のフロントパネルのSwitchをDIとStrobe信号を利用し、あるStep幅でDACの値をUp/Downさせる。このStep幅は基盤上のDIP SWにて4種の値を選択できる。この機能はi-DIOカードの上位Masterカードとの接続が無い場合でも実現する。ローカル制御機能がついた電源の制御ブロック図を図10に、Front Panel配置案を図11に示す。

5. まとめ

現在8種類の電源について、各1号機が完成し、制御プログラムの試験を順次行っている。電流監視の精度については、外部からの監視やi-DIOを用いた監視の精度を、何処まで追い込めるかが当面の課題であり、十分な試作試験が必要である。電源の製作は、複数の製造メーカーで行っており、フロントパネル、リアのパネル、制御I/Fの仕様を共通化し、将来の維持管理を行いやすくすることも重要である。

一般にQやSteering電磁石の小型電源では2台が近傍で設置される場合が多い。i-DIOは1枚のカー

ドにより電源2ch分を制御できるので小型電源では制御部の価格比率が大きいためコスト面で有利である。また新たなi-DIOの(FPGA)機能によるローカル制御の実現が、電源製作の簡便化やコストダウンにつながり今後の加速器建設に役立つことを願っている。ローカル制御の試験は2009年冬を予定している。

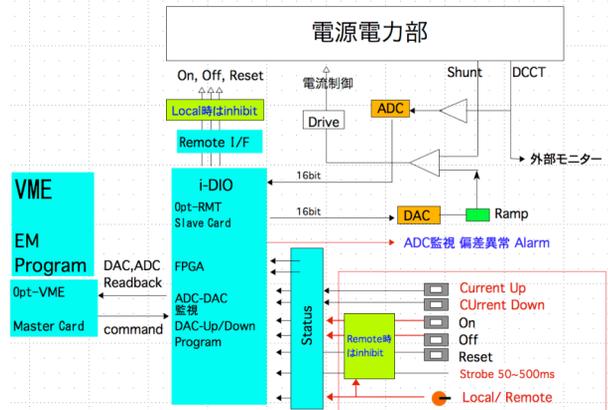


図 10 : 電源のLocal制御ブロック図

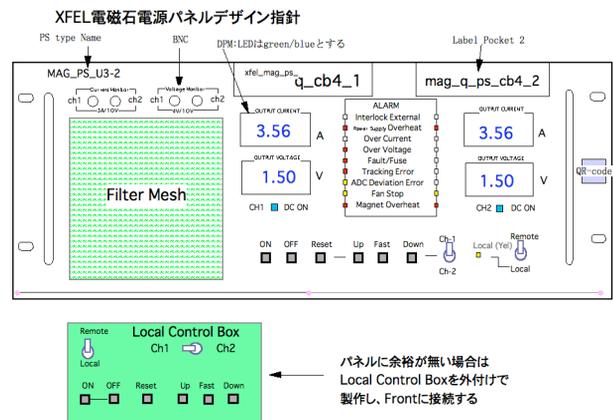


図 11 : フロントパネル案

6. 謝辞

i-DIOの開発と資料作成に際し多大なご協力を頂いた日立造船(Hitz)の方々や株式会社IDX、工藤電機KKの方々に深い感謝の意をここに表明します。

参考文献

- [1] T.Shintake, et al., "X線自由電子レーザー計画の現状", (WO03) Proceedings of the 5th Accelerator Symposium in Japan, Hiroshima, Aug. 6, 2008
- [2] H.Takebe, et al., "Power supply Design for the XFEL/SPring-8 Magnet", (FP51) Proceedings of the 4th Accelerator Symposium in Japan, Wako, Aug. 3, 2007
- [3] T. Masuda et al., "Upgrade of the SPring-8 Linac Control by Re-engineering the VME Systems for Maximizing Availability", Proc. Of ICALEPCS '03, Gyeongju, Korea, 2003